

## Desenvolvimento de um equipamento para medida de condutividade hidráulica do solo baseado em sistema open source de baixo custo

The title of the expanded abstract must be in lower case and contain up to two lines without a period

Jorge Wagner Barbosa Henriques <sup>1</sup>, Augusto Luengo Pereira Nunes <sup>2</sup>, Jefferson Sussumu Aguiar Hachiya <sup>3</sup>, Leonardo Carmezini Marques <sup>4</sup>, Daniele Albuquerque<sup>5</sup>, Marcelo Hidemassa Anami<sup>6</sup>

### RESUMO

As mudanças climáticas naturais ou promovidos pela ação humana, tem gerado grande preocupação entre os pesquisadores, políticos e a população geral, pela influência no ciclo de chuvas. Este trabalho teve por objetivo desenvolver um equipamento para medida de condutividade hidráulica do solo baseado em sistema *open source* de baixo custo. O equipamento desenvolvido foi baseado no modelo IAC e consiste basicamente em uma garrafa de Mariotte que fornece água no solo com uma carga hidráulica controlada. O sistema foi implementado sobre uma placa de desenvolvimento Arduino® Mega 2560 Rev3. Os testes com o equipamento desenvolvido relacionaram o tempo de queda da lâmina de água dentro do permeâmetro. Os resultados apontaram uma correlação excelente do sistema automatizado em relação a medida manual. Os custos ficaram muito abaixo dos equipamentos disponíveis no mercado que é medido manualmente. Assim conclui-se que o protótipo desenvolvido é adequado, devido ao sistema autônomo de registro, com baixo custo e precisão compatível com equipamentos convencionais disponíveis no mercado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Arduino. Balanço hídrico. Infiltração.

### ABSTRACT

Climate changes natural or promoted by human action, have generated great concern among researchers, politicians and the general population, due to their influence on the rain cycle. This work aimed to develop equipment for measuring soil hydraulic conductivity based on a low-cost open source system. The equipment developed was based on the IAC model and basically consists of a Mariotte bottle that delivers water to the ground with a controlled hydraulic load. The system was implemented on an Arduino® Mega 2560 Rev3 development board. Tests with the developed equipment related the time it takes for the height of the water layer to fall within the permeameter. The results showed an excellent correlation between the automated system and the manual measurement. The costs were much lower than equipment available on the market that is measured manually. Thus, it is concluded that the prototype developed is suitable, due to the autonomous registration system, with low cost and precision compatible with conventional equipment available on the market.

**KEYWORDS:** Arduino. Water balance. Infiltration.

<sup>1</sup> Bolsistas do CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: jorgewagner794@gmail.com, ID Lattes: 5037969571857453

<sup>2</sup> Docente. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: augusto.nunes@ifpr.edu.br. ID Lattes: 6074532556808054

<sup>3</sup> Docente. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: jefferson.hachiya@ifpr.edu.br. ID Lattes: 2703279126438378.

<sup>4</sup> Docente. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: leonardo.carmezini@ifpr.edu.br. ID Lattes: 7559934174616296

<sup>5</sup> Técnica de Laboratório - Bióloga. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: daniele.albuquerque@ifpr.edu.br. ID Lattes: 0605762301603623.

<sup>6</sup> Docente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: mhanami@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3307401491797973.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no Brasil é altamente dependente do clima, assim as mudanças climáticas naturais ou promovidos pela ação humana, tem gerado grande preocupação entre os pesquisadores, políticos e a população geral. Assim a distribuição de chuvas no Brasil é muito variável e dependente de fenômenos como o El Niño e La Niña, por esta razão quantificar o movimento da água no solo é importante (MARENGO, 2008).

A entrada de água no solo, pela infiltração, o movimento da água até as raízes das plantas, o fluxo de água até drenos ou poços, assim como a evaporação de água a partir da superfície do solo, são exemplos claros de processos que dependem da intensidade com que a água se move no solo.

A água se move no solo segundo dois mecanismos básicos: fluxo ao longo de poros preenchidos por água, incluindo o fluxo de água nas camadas adsorvidas nas superfícies sólidas; e o mecanismo de difusão de vapor em poros preenchidos com ar. (MILLER e KLUTE, 1967).

HILLEL (1980) salienta que a condutividade hidráulica, que é a habilidade que o solo possui de transmitir água, decresce rapidamente com o tempo, devido à redução da umidade. O movimento de água no solo depois de certo tempo, torna-se desprezível. Nesta condição, o solo armazena a máxima quantidade de água que estaria disponível as plantas e diz que o solo se encontra na capacidade de campo REICHARDT (1993). No entanto, o movimento descendente nunca cessa, pois o potencial gravitacional sempre está presente. Essa definição mostra que a capacidade de campo se refere a um comportamento dinâmico do perfil de solo, no que concerne a distribuição de água.

Um dos métodos utilizados para avaliação da quantidade de água que infiltra no solo é o uso de permeâmetros, que se destaca pela simplicidade e rapidez nas medições (CASTRO, 1995).

Este trabalho teve por objetivo desenvolver um equipamento para medida de condutividade hidráulica do solo baseado em sistema *open source* de baixo custo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento desenvolvido foi baseado no modelo IAC desenvolvido por Vieira (1995-1998) e consiste basicamente em uma garrafa de Mariotte que fornece água no solo com uma carga hidráulica controlada.

A sequência utilizada para aquisição dos componentes foi feita da seguinte maneira: definição dos parâmetros a serem medidos; seleção dos sensores e unidade de controle; seleção dos componentes acessórios; montagem dos componentes na unidade de controle; realização da programação do hardware Arduino®; testes de funcionamento do periférico; ajustes e revisão final de funcionamento do periférico.

A programação do hardware Arduino Mega 2560® foram feitos conforme definido por Manzano e Oliveira (2005), nos quais o computador é utilizado para solucionar problemas que envolvam a manipulação de informações. O programa IDE utilizado é própria do hardware Arduino® (ARDUINO, 2023.).

O sistema foi implementado sobre uma placa de desenvolvimento Arduino® Mega 2560 Rev3, que oferece 16 MHz de processamento, 8 KB de memória SRAM, 256 KB de memória flash e 4 KB de armazenamento *EEPROM*, bem como 70 pinos de

comunicação, sendo 54 deles digitais (0-1) e 16 analógicos (0-1027), além de disponibilizar 4 canais seriais, conforme Arduino (2023).

Os custos da realização do projeto foram levantados pela aquisição dos componentes levando em consideração o valor no segundo semestre de 2022.

Os testes de funcionamento do equipamento com os componentes da automação, seguiram a metodologia definida por Pott (2001) com adaptações.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 1 apresentam os custos levantados para o desenvolvimento do protótipo.

**Quadro 1. Levantamento dos Componentes para dois permeômetros, modelo A**

Equipamento	QTD	Valor Mercado
Placa de desenvolvimento Arduino® Mega 2560 Rev 3	1	R\$140,00
Protoboard 400 pontos	1	R\$12,00
Conjunto de Jumper's	3	R\$3,00
Sensor ultrassônico	1	R\$8,00
Real Time Clock RTC DS3231 com Bateria	1	R\$17,00
Modulo Sensor de Distancia Ultrassônico, Hc-Sr04	1	R\$30,00
Gravador cartão SD	1	R\$12,00
Tubo de PVC 100mm (modelo A)	1	R\$20,00
Acessórios diversos	Vários	R\$50,00

Fonte: Autoria própria (2023)

Quanto aos custos, o orçamento destinado para aquisição dos componentes ficou em R\$312,00 durante o segundo semestre de 2022, para um modelo de permeômetro. Para efeito comparativo, um permeômetro de Guelph pode ser encontrado no mercado por no mínimo R\$ 78.722,00. A figura 1 mostra o permeômetro sem os componentes eletrônicos.

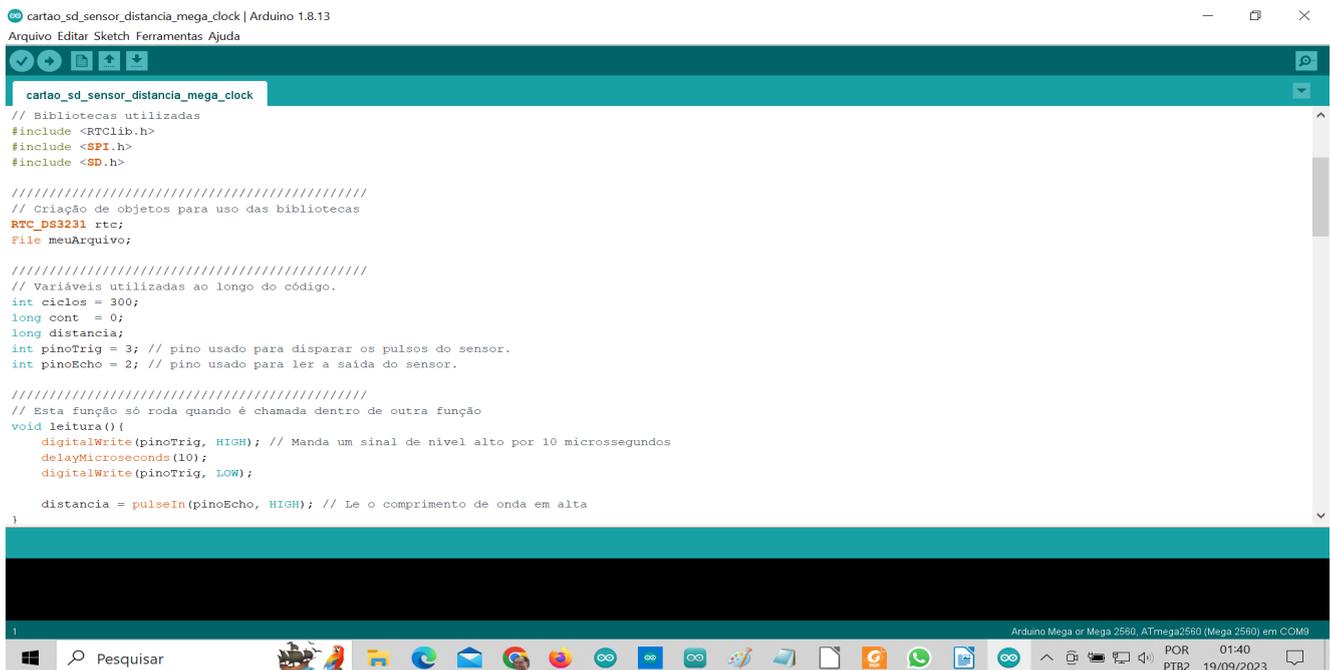
**Figura 1. Permeâmetro de carga hidráulica controlada**



Fonte: Autoria própria (2023)

O código do programa (incompleto) dos sensores de umidade realizados na plataforma IDE do Arduino está apresentado na figura 2

**Figura 2. Linhas do programa no arduino IDE**



```

cartao_sd_sensor_distancia_mega_clock | Arduino 1.8.13
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

cartao_sd_sensor_distancia_mega_clock
// Bibliotecas utilizadas
#include <RTCLib.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>

////////////////////////////////////
// Criação de objetos para uso das bibliotecas
RTC_DS3231 rtc;
File meuArquivo;

////////////////////////////////////
// Variáveis utilizadas ao longo do código.
int ciclos = 300;
long cont = 0;
long distancia;
int pinoTrig = 3; // pino usado para disparar os pulsos do sensor.
int pinoEcho = 2; // pino usado para ler a saída do sensor.

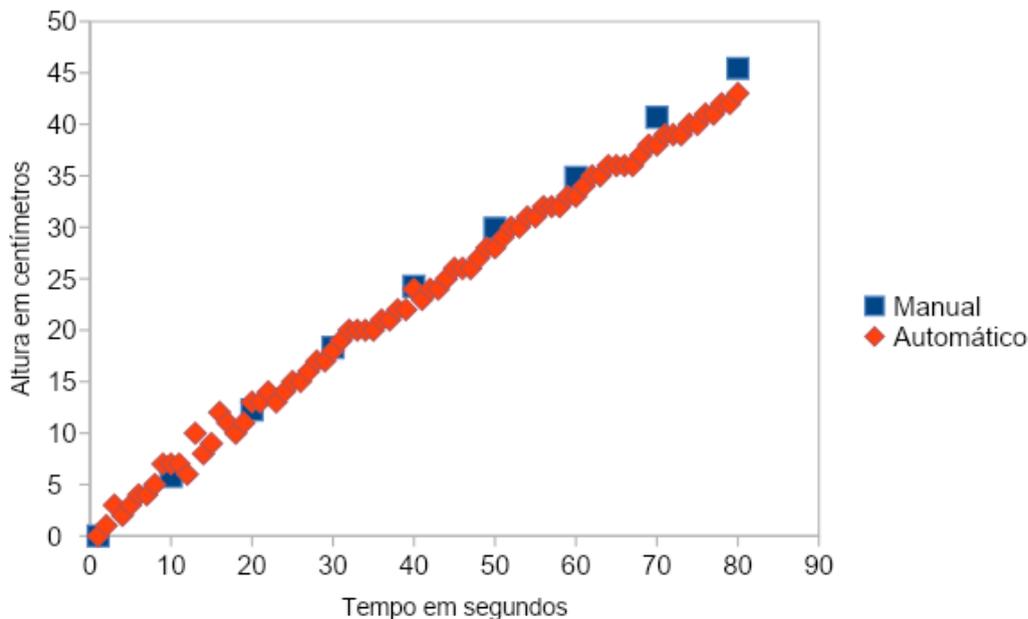
////////////////////////////////////
// Esta função só roda quando é chamada dentro de outra função
void leitura() {
  digitalWrite(pinoTrig, HIGH); // Manda um sinal de nível alto por 10 microssegundos
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(pinoTrig, LOW);

  distancia = pulseIn(pinoEcho, HIGH); // Le o comprimento de onda em alta
}
  
```

Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados obtidos com as medições realizadas pelo modelo A de permeâmetro está apresentada na figura 3

**Figura 3. Altura da lâmina de infiltração do permeâmetro**



Fonte: Autoria própria (2023)

Os resultados obtidos pelos testes corroboram com o que foi realizado por Chernichiarro, Barmak e Teixeira (2019) onde os valores medidos automaticamente foram equivalentes aos medidos manualmente.

Observa-se que a medição automática tem uma correlação com a medição feita manualmente, com a vantagem de ter um número maior de observações que pode ser configurada conforme a necessidade, e uma precisão elevada.

Os resultados de campo ainda não estão disponíveis por questão de sigilo e futura solicitação de propriedade intelectual.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelo protótipo desenvolvido são adequados, devido ao sistema autônomo de registro, com baixo custo e precisão compatível com equipamentos convencionais disponíveis no mercado

## Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Instituto Federal do Paraná – IFPR, por disponibilizar os docentes, estrutura e apoio no desenvolvimento ao projeto, ao CNPq/CAPES pela concessão da bolsa.

## Disponibilidade de código

Os códigos não estão disponíveis integralmente por questão de sigilo e futura solicitação de propriedade intelectual.

## Conflito de interesse

Não há conflito de interesse, nesta pesquisa

## REFERÊNCIAS

ARDUINO®. **Arduino® Mega 2560 Rev3 Product Reference Manual**. 2023.

CASTRO, O. M. **Comportamento físico e químico de um latossolo roxo em função do seu preparo na cultura do milho (Zea Mays L.)**. Piracicaba, 1995. 174 p. Tese (Doutorado) – ESALQ/USP.

HILLEL, D. **Applications of soil physics**. New York: Academic Press, 1980.

KLUTE, A. **Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soil**. In: BLACK, C. A.(ed.) *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, N<sup>o</sup> 9, Part 1, 1965, Chap. 13, p: 210 – 221.

MANZANO, J. A. N. G.; OLIVEIRA, J. F. **Algoritmos: lógica para desenvolvimento de programação de computadores**. 17. ed. Érica, 2005

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo. 22 (63), 2008.

POTT, C. A. **Determinação da velocidade de infiltração Básica de água no solo por meio de infiltrômetros de aspersão, de pressão e de tensão, em três solos do estado de São Paulo**. Campinas, 2001. 77 p. Dissertação (Mestrado) – IAC.

REICHARDT, K. **Dinâmica da matéria e da energia em ecossistemas**. Piracicaba, Departamento de física e meteorologia - ESALQ/USP, 1993, 505 p.

VIEIRA, S. R. **Permeâmetro: novo aliado na avaliação de manejo do solo**. *O Agrônomo*, Campinas, v.47-50, p.32-33, 1998

CERNICHARRO.BARMARK.TEIXEIRA. **Automatização da avaliação da condutividade hidráulica saturada – validação da metodologia em solos arenosos da ilha de são luiz – ma, Brasil**. In: SEMINARIO DE EXTENSÃO DE INOVAÇÃO 2019 Campo Grande (MG), **Anais eletrônicos...Campo Grande**: EMBRAPA, 2019, Disponível em:<<http://www.utfpr.edu.br/comissoes/consulta/elaboracao-de-trabalhos-academicos-e-cientificos/padroes-utfpr-para-trabalhos>>, Acesso em: 20 de Out. 2023.